

이방향 휨인장강도 시험법 개선에 관한 실험적 연구

An Experimental Study for the Improvement of the Biaxial Flexural Test (BFT) Method for Concretes

김지환* · 이현진** · 김나영*** · 지광습****

Kim, Jihwan · Lee, Hyun Jin · Kim, Na Young · Zi, Goangseup

1. 서 론

오늘날 섬유보강 시멘트 복합재료 (High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites, HPRCC) 및 고강도 콘크리트(high-strength concrete)와 같은 고성능 콘크리트의 개발과 실용화로 콘크리트 구조물이 대형화, 고층화 되어감에 따라 구조부재는 두께가 얇은 판과 셸 형태가 증가하는 추세이다. 이러한 구조부재들은 작용하중에 의해 그림 1(a)와 같이 일방향 응력상태 (uniaxial stress state)가 아닌 그림 1(b)와 같은 이방향 응력상태 (biaxial stress state)에 놓이게 된다. 따라서 판과 셸 형태 구조물의 사용성 평가를 위해서는 실제적인 이방향 인장응력상태를 고려한 평가가 요구되어 진다.

이방향 휨응력 상태의 콘크리트 구조물의 인장강도를 경제적이고 간편하게 측정할 수 있는 이방향 휨인장 시험법(Biaxial Flexure Test; BFT)이 국내 연구진에 의해 최근 개발되었다 (Zi et al. 2008). BFT 시험법은 시험 시 시험체에 등방성 휨인장응력(isotropic flexure tensile stress)이 형성되어 구조물에서 실제 발생할 수 있는 이방향 인장응력상태를 가장 잘 평가할 수 있는 시험법이다. 그러나 기존 연구에서 시험체에 발생하는 등방성 휨인장응력은 시험체의 표면 조건과 뒤틀림 정도에 많은 영향을 받으며, 그로인해 정확한 이방향 휨인장강도를 얻는 것이 어려울 뿐만 아니라 실험결과와 분산성이 큰 것으로 나타났다. 본 논문에서는 BFT 시험을 이용한 신뢰성 있는 콘크리트의 이방향 휨인장강도 측정을 위해 시험 시 BFT 시험체에 등방성 휨인장응력이 작용하도록 시험법 개선을 위한 연구를 수행하였다.

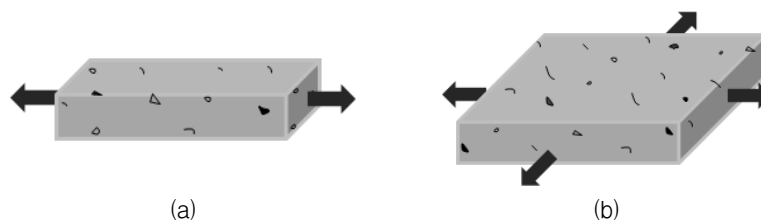


그림 1. (a) 일방향과 (b) 이방향 응력 상태

2. 이방향 휨인장강도 시험법 개선

2.1 실험 개요 및 방법

BFT 시험 시 시험체가 등방성 응력상태에 놓일 수 있도록 하기 위해 BFT 시험법 개선을 위한 실험

* 학생회원 · 고려대학교 건축 · 사회환경공학과 박사과정 · 공학석사 · E-mail: jihwan@korea.ac.kr - 발표자
 ** 학생회원 · 고려대학교 건축 · 사회환경공학과 석사과정 · 공학석사 · E-mail: hjin1203@korea.ac.kr
 *** 학생회원 · 고려대학교 건축 · 사회환경공학과 석사과정 · 공학석사 · E-mail: kny0112@korea.ac.kr
 **** 정회원 · 고려대학교 건축 · 사회환경공학과 부교수 · 공학박사 · E-mail: g-zi@korea.ac.kr

을 수행하였다. 이를 위해 시험체 표면의 평탄성 확보와 시험체의 뒤틀림을 최소화하기 위해 테두리와 바닥 모두 두께 2mm 철판으로 제작된 몰드를 사용하였으며, 타설 시 타설 바닥면의 굴곡으로 인한 시험체에 발생할 뒤틀림을 고려하여 모든 시험체는 12mm 두께의 합판 위에서 타설하였다. 실험을 위한 BFT 시험체를 표 1의 최적 시험체의 제원을 적용하여 제작하였다. 시험체의 두께를 고려하여 굵은 골재는 재료 파괴의 연속성을 확보하기 위해 최대치수 8mm인 부순 굵은 골재를 사용하였고, 시험체의 크기에 따라 각각 4개씩의 시험체를 제작하였다. 제작에 사용된 콘크리트 배합설계는 표 2와 같다.

표 1. 시험체 제원

| h (mm) | Size(mm) (h X 2R) | 2a (mm) | 2b (mm) |
|-----------|----------------------|------------|------------|
| 75 | 75 X 657 | 625 | 156 |

표 2. 콘크리트 배합표

| W/C (%) | S/a (%) | Unit weight (kg/m ³) | | | |
|------------|------------|----------------------------------|-----|-----|-----|
| | | W | C | S | G |
| 42 | 49 | 170 | 405 | 866 | 934 |

시험체에 작용하는 편심에 의한 오차를 최소화하기 위해 시험체의 중앙이 지점장치의 중앙과 가력장치의 중앙에 위치하도록 하였고, 실험실의 바닥과 지점장치를 고정시켜 이동을 제한하여 실험을 수행하였다. 경화된 시험체의 몰드를 제거한 후 실험 전에 그림 2와 같이 시험체와 지점장치가 맞닿는 부분에 캐핑(capping)을 하였다. 이는 KS F 2403 기준의 압축강도 시험을 위한 원주형 콘크리트 공시체의 표면 마무리인 캐핑과 같이 시험체에 균일한 하중이 작용하도록 하기 위한 방안이다. 본 시험체의 캐핑을 위해 링 형태의 강재로 된 누름판과 시험체의 배합강도를 고려해 고강도 공업용 석고를 사용하였다.

본 실험의 하중 재하 속도는 분당 1mm의 변위제어(displacement control) 방식으로 실험을 수행하였으며, 시험체가 파괴될 때까지 하중을 재하하여 각 시험체에 가해지는 최대 하중을 측정하였다. 시험 시 BFT 시험체에 작용하는 등방성 휨인장거동의 구현여부를 알아보기 위해 그림 2와 같이 시편 중앙 아랫면에 2개의 60mm 변형률 게이지를 직교하도록 부착하여 시험체의 변형률을 측정하였다.

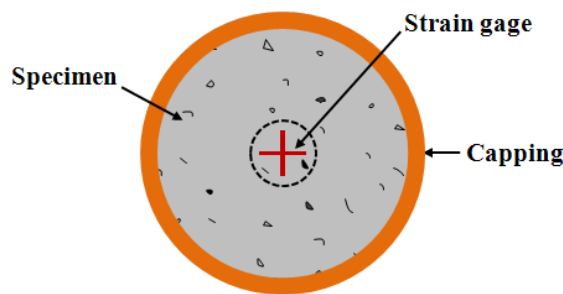


그림 2. BFT 시험체의 아랫면

2.2 실험 결과 및 고찰

그림 3은 시험체의 대표적 파괴 형상과 그 시험체의 인장면에서 측정된 하중-변형률 관계를 나타내고 있

다. 본 실험 결과에서 관찰된 파괴 형상은 사전 변형률 측정 실험과 기존 연구 (오홍섭과 지광습, 2010)에서 관찰된 파괴 형상과 달리 정확하게 3 조각으로 파괴 되었으며, 최대모멘트 구간인 가력장치 내에서 균열이 발생하여 파괴된 것을 알 수 있다. 또한, 균열강도와 최대강도가 차이가 발생하는 것으로 나타났으나, 본 실험 결과에서는 균열강도와 최대강도가 일치하는 것으로 나타났다. 시험 시 BFT 시험체에 작용하는 응력상태를 알아보기 위해 측정한 두 개의 하중-변형률 곡선 역시 기존 연구의 실험 결과와 다르게 그림 3과 같이 시험체의 파괴 형상과는 관계없이 파괴 시까지 완전히 일치하는 것으로 나타났다. 이러한 실험 결과로부터 실험 시 BFT 시험체는 등방성 휨인장응력 상태에 놓인 것으로 판단할 수 있다.

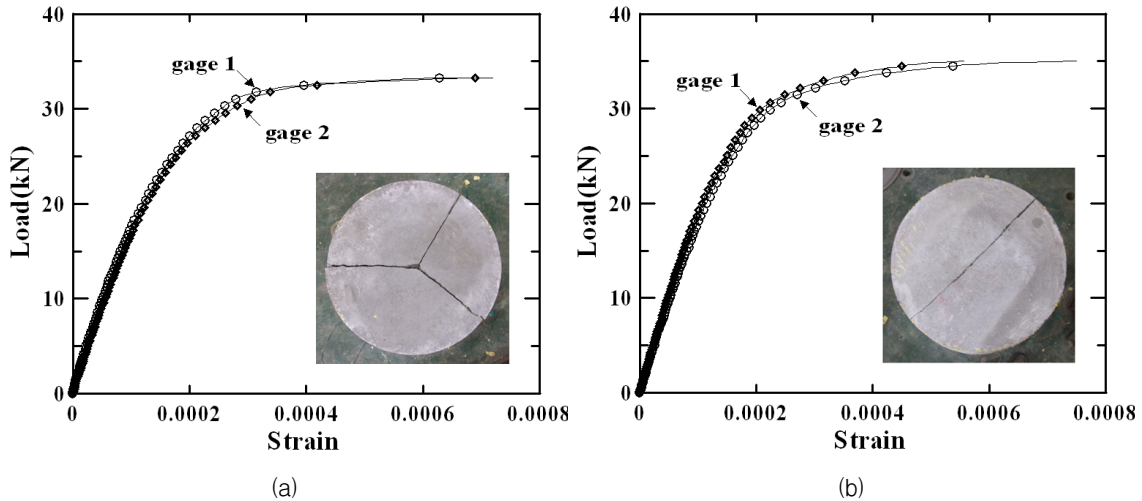


그림 3. 시험법 개선에 의해 (a) 3조각 및 (b) 2조각으로 파괴된 BFT 시험체 아랫면의 하중-변형률 관계

3. 결 론

본 연구에서는 정확한 이방향 휨인장강도 측정을 위해 BFT 시험법 개선을 위한 실험을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. BFT 시험 시 시험체에 등방성 휨인장응력이 발생하도록 하고, 편심으로 인한 오차를 최소화 하기 위하여 가력장치, 시험체, 지점장치의 중심을 일치시켰으며, 시험체의 표면조건과 뒤틀림을 고려해 고강도 석고를 이용한 캐핑과 고무의 사용으로 시험체에 균일한 하중이 전달되도록 시험법을 개선하였다.
2. 개선된 시험법에 의한 BFT 시험체의 변형률 측정 실험 결과, 시험체의 파괴 형상과는 관계없이 균일한 등방성 휨인장거동이 관찰되었고, 최대모멘트 구간인 가력장치 내에서 균열이 발생됨과 동시에 파괴되어 BFT 시험체에 등방성 휨인장응력이 작용하였음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원으로 이루어졌습니다 (2011-0003166).

참고문헌

1. 기술표준원 (2005) KS F 2403 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법.
2. 오홍섭, 지광습 (2010) 최적실험체 제원에 의한 콘크리트의 일축 및 이축 휨인장강도, **대한토목학회논문집**, 30(2), pp. 185-191.
3. Zi, G., Oh, H., and Park, S.-K. (2008) A novel indirect tensile test method to measure the biaxial tensile strength of concretes and other quasibrittle materials, *Cement and Concrete Research*, 38(6), pp. 751-756.